مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۲، شماره ۲، سال ۱۳۹۵

اثر تیمارهای قبل از برداشت کلسیم و جیبرلین بر کنترل سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای در دوره انبارمانی

The Effects of Preharvest Calcium and Gibberellin Treatments on Sweet Pepper Chilling Injury During Storage

میثم محمدی[۱]، اورنگ خادمی[۲]، مهدی صیدی[۳] و مسعود بازگیر[۳]

۱ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق دوره کارشناسی ارشد و استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام
۲- استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۸

چکیده

محمدی، م.، خادمی، ا.، صیدی، م. و بازگیر، م. ۱۳۹۵. اثر تیمارهای قبل از برداشت کلسیم و جیبرلین بر کنترل سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای در دوره انبارمانی. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۲: ۲۲۲-۲۰۹.**

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) حساس به سرمازدگی است و علائمی همانند، تغییر رنگ، کاهش سفتی، و آلودگی‌های قارچی از جمله علایم سرمازدگی در این محصول هستند. در این بررسی اثر کلریدکلسیم ۰/۵ درصد و اسیدجیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در دو و سه دوره محلول‌پاشی قبل از برداشت بر برخی ویژگی‌های کیفی و کنترل سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای رقم کالیفرنیا واندر در انبار سرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمارهای کلسیم و جیبرلین در مقایسه با شاهد شدت سرمازدگی کمتری داشتند و در این بین کمترین سرمازدگی در تیمار کلسیم سه بار محلول‌پاشی مشاهده شد. تیمار کلسیم دارای مقدار مالون‌دی‌آلدئید کمتری نسبت به تیمار جیبرلین و تیمار جیبرلین نیز دارای مقدار مالون‌دی‌آلدئید کمتری نسبت به شاهد بود. در تیمارهای اعمال شده، سفتی بافت و اسیدیته قابل تیتراسیون بیشتر و مقدار مواد جامد محلول کمتر از شاهد بود. مقدار اسید آسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای کلریدکلسیم و جیبرلین بیشتر از شاهد بود. بیشترین مقدار کلسیم در نمونه‌های تیمار کلریدکلسیم مشاهده شد. نمونه‌های تیمار جیبرلین نیز دارای کلسیم بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند. در بیشتر شاخص‌های کیفی اختلاف معنی‌داری بین دو بار و سه بار محلول پاشی مشاهده نشد، بنابراین هر دو تیمار کلریدکلسیم و جیبرلین موجب حفظ کیفیت و کاهش خسارت سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای در انبار سرد شده و می‌تواند برای افزایش عمر پس از برداشت این میوه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فلفل دلمه‌ای، انبارمانی، خسارت سرمازدگی، کلسیم، کیفیت.

نویسنده مسئول: o.khademi@shahed.ac.ir تلفن: ۰۲۱۵۱۲۱۲۳۲۴

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. از خانواده سولاناسه (Solanacea) است (Peyvast, 2009). این محصول به دلیل وجود ترکیبات فعال بیولوژیکی از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، ویتامین‌های ضروری و مواد معدنی، ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد و روز به روز بر تولید و مصرف آن افزوده می‌شود (Bosland and Votova, 2000؛ Deppa *et al.,* 2006).

اکثر محصولات باغبانی به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاص، از زمان برداشت تا مصرف ضایعاتی از نظر کمی و کیفی دارند. میزان این ضایعات بر اساس آمار بسته به نوع محصول بین ۵ تا ۵۰ درصد در کشورهای مختلف متفاوت است (Ashornejad and Ghasemnejad, 2012؛ Rahemi, 2011). بیشتر ضایعات نتیجه عدم تغذیه مناسب محصول در قبل از برداشت و عدم توجه به شیوه‌های درست جابه‌جائی، انبارداری، حمل و نقل و بازاررسانی محصول در پس از برداشت است (Rahemi, 2011). رطوبت بالای محصولات باغبانی باعث فسادپذیری بیشتر آن‌ها و کاهش عمر انبارمانی می‌شود. برای کاستن ضایعات و حفظ کیفیت محصول علاوه بر کاهش دمای انبار توجه به مواردی که از سرمازدگی جلوگیری می کند، ضروری است (Ashornejad and Ghasemnejad, 2012).

میوه فلفل همانند بیشتر محصولات مناطق گرمسیری حساس به سرمازدگی است و علایمی مثل تغییر رنگ، کاهش شدید سفتی، تغییرات کیفی در متابولیت‌های میوه و آلودگی‌های قارچی از جمله علایم و پی‌آمدهای ناشی از سرمازدگی در این محصول هستند، از این رو به طور معمول میوه فلفل در دمای بالای ده درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود، ولی در این دما میوه سریعا دچار کاهش وزن شده و با شیوع انواع بیماری‌ها کیفیت خود را از دست می‌دهد (Vicente *et al.*, 2005؛ Ramana *et al.,* 2011؛ Nyanjage *et al.*, 2005). هر گونه روشی که باعث افزایش مقاومت به سرمازدگی و حفظ کیفیت و شادابی این محصول شود به انبارمانی، بازاریابی و صادرات این محصول کمک شایانی خواهد کرد. نشان داده شده است که تیمار اشعه ماورا بنفش (UV-C) با کاهش آلودگی میکروبی موجب نگهداری میوه فلفل در دمای ده درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ روز می‌شود ولی این تیمار با القای مقاومت به سرمازدگی موجب افزایش عمر پس از برداشت میوه فلفل تا روز ۲۲ در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به علاوه چهار روز در دمای معمولی شد (Vicente *et al.*, 2005).

در میان عناصر غذایی کلسیم مهم‌ترین عنصر معدنی در تعیین کیفیت میوه است که به خاطر نقش ساختمانی آن، در تمامی مراحل رشد مورد نیاز گیاهان است، مخصوصاً در سیب، گلابی،

توت فرنگی، انگور، کیوی، زردآلو و بسیاری از گل‌های شاخه بریدنی و میوه‌های دیگر عمر نگهداری میوه‌ها را افزایش می‌دهد. کلسیم علاوه بر عامل تثبیت کننده کمپلکس پکتین- پروتئین در تیغه میانی، با استقرار در دیواره سلولی به ترکیبات تیغه میانی ثبات می‌بخشد و ساختمان دیواره سلولی را حفظ می‌کند. کلسیم با استحکام بخشیدن به دیواره سلولی و کاهش تولید اتیلن نیز در کاهش علایم سرمازدگی، کاهش آلودگی‌های قارچی و افزایش انبارمانی محصولات باغبانی نقش خود را ایفا می‌کند (Babalar *et al.*, 1999). کاربرد محلول کلسیم پیش از برداشت موجب جلوگیری از عارضه‌های فیزیولوژیکی و به تأخیر انداختن فرایند پیری و رسیدگی میوه‌ها می‌شود (Lima, 1990؛ Conway *et al.*, 2002). گزارش شده است که کاربرد کلریدکلسیم پس از برداشت باعث افزایش عمر قفسه‌ای فلفل دلمه‌ای در دماهای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و همچنین باعث حفظ اسیدیته، مواد جامد محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و اسیدآسکوربیک اکسیداز در طول ۱۸ روز انبارمانی شده است (Hedden and Phillips, 2000). نتایج تحقیقات کانوی و همکاران (Conway *et al.,* 2002) نشان داد که کاربرد قبل و پس از برداشت کلسیم باعث حفظ سفتی و کاهش عوارض فیزیولوژیکی در میوه سیب شد. همچنین ابل و همکاران (Abel *et al.,* 2011) گزارش کردند که کاربرد کلسیم قبل از برداشت باعث افزایش محتوی کلسیم میوه و سفتی بافت میوه و همچنین تغییر در فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی میوه سیب شد.

جیبرلین نیز یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد سلولی است که نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان بازی می‌کند. از جمله نقش‌های مهمی که این هورمون درگیاهان دارد می‌توان به طویل شدن سلول‌ها، گلدهی، تولید میوه بکرزایی، طویل شدن ریشه، رشد برگ‌ها، جوانه زنی بذر، بزرگ شدن و کیفیت میوه، تأخیر در رسیدن میوه‌ها و افزایش طول میانگره‌ها اشاره کرد (Lange, 1998). جیبرلین‌ها بسته به مرحله رشد در گیاه اثر متفاوتی را نشان می‌دهند و در کنترل تنش‌های محیطی از جمله خسارت سرما، خشکی و کنترل بیماری‌های قارچی و باکتریایی نقش دارند. در واقع کاربرد جیبرلین در قبل از برداشت با بهبود رشد گیاه موجب افزایش کیفیت و کاهش تلفات پس از برداشت محصولات باغبانی می‌شود (Hedden and Phillips, 2000). نشان داده شده است که کاربرد قبل از برداشت جیبرلین موجب افزایش مقدار کلروفیل، مواد جامد محلول و ویتامین C در میوه‌های فلفل دلمه‌ای می‌شود (Fung *et al.,* 2006). بسدا و همکاران (Besada *et al.*, 2008) روی میوه خرمالو نشان دادند که کاربرد قبل از برداشت

جیبرلین موجب القای مقاومت به سرمازدگی در پس از برداشت شد. بهبود انبارمانی میوه هلو توسط محلول‌پاشی با اسیدجیبرلیک نیز گزارش شده است (Ju *et al.*, 1999).

مشکل عمده نگهداری فلفل دلمه‌ای در ایران حساسیت شدید آن به سرمازدگی در صورت نگهداری در دمای پایین و عمر پس از برداشت کوتاه و پوسیدگی در صورت نگهداری در دمای بالا است، بنابراین با القای مقاومت به سرمازدگی، امکان نگهداری طولانی مدت میوه فلفل در دمای سرد وجود خواهد داشت. تا کنون گزارشی مبنی بر کاهش سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای توسط محلول‌پاشی قبل از برداشت با کلریدکلسیم و جیبرلین منتشر نشده است، بنابراین در این پژوهش اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت ترکیبات کلسیم و جیبرلین در افزایش عمر مفید پس از برداشت فلفل دلمه‌ای در انبار سرد مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم کالیفرنیا واندر (California wonder) بود که نشاهای آن از مرکز تولید تجاری در شهرستان کرج تهیه و در مرحله چهار برگی در بهار ۱۳۹۲ به زمین اصلی منتقل شد. هر بلوک به شش واحد آزمایشی تقسیم‌بندی شده و در هر واحد آزمایشی ۲۴ بوته در سه ردیف با فواصل ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۳۵ سانتی‌متر روی ردیف‌ها کاشته شد. آبیاری به صورت قطره‌ای بوده و کود کامل در مرحله استقرار کامل به صورت یکنواخت در واحدهای آزمایشی پخش شد.

تیمارهای اعمال شده شامل: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدکلسیم ۰/۵ درصد بود. هر یک از تیمارها به صورت دو بار (زمان ظهور میوه و ۱۵ روز پس از آن) و یا سه بار محلول‌پاشی (زمان ظهور میوه، ده روز پس از آن و بیست روز پس از آن) اعمال شد. محلول‌پاشی‌ها پس از غروب آفتاب و به وسیله سمپاش موتوری همراه با توویین ۲۰ (Tween 20) با غلظت ۰/۱ درصد حجمی- حجمی به عنوان سورفکتانت انجام شد. محلول‌پاشی تا آن‌جایی ادامه پیدا کرد که به صورت قطراتی از گیاه در حال چکیدن بود. بیست میوه از هر واحد آزمایشی (در مجموع ۸۰ میوه از هر تیمار) در مرحله بلوغ باغبانی برداشت و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد انبار شدند. در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ روز تعداد ۴۰ میوه از هر تیمار به عنوان چهار تکرار از انبار خارج و پس از دو روز نگهداری در دمای معمولی اتاق و رطوبت ۶۰-۵۰ درصد به عنوان عمر قفسه‌ای از نظر خواص کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفتند. از هر واحد آزمایشی نیز تعداد پنج میوه برداشت شده و برای اندازه‌گیری سفتی، مقدار

مواد جامد محلول و مقدار کلسیم در زمان برداشت و قبل از انبارداری مورد استفاده قرار گرفتند.

شدت سرمازدگی میوه‌ها به صورت مشاهده‌ای و در محدوده صفر تا سه نمره‌دهی شد. صفر بدون سرمازدگی و سه بیشترین شدت سرمازدگی را شامل می‌شد. علایم سرمازدگی بر اساس شدت آب‌گزیده شدن سطح میوه تغییر رنگ و نرم شدن شدید رتبه‌بندی و بر اساس فرمول زیر و به صورت شاخص در هر واحد آزمایشی محاسبه شد (Nyanjage *et al.*, 2005).

$$CI = \sum(ni \times i) / N \times 5$$

که درآن CI شاخص سرمازدگی، ni تعداد میوه‌هایی که علائم سرمازدگی درجه i و i درجه سرمازدگی از صفر تا سه را نشان می‌دهند.

سفتی بافت میوه (میزان نیروی لازم برای سوراخ کردن گوشت میوه) با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دستی (مدل FT-011) به صورت میانگین از پنج قسمت متفاوت میوه محاسبه شد. پس از عصاره‌گیری مقدار مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی (مدل ATC-1e) در دمای اتاق و برحسب درجه بریکس و درصد اسیدیته قابل تیتراسیون از طریق تیتر کردن عصاره میوه با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH نهایی ۸/۲ و بر اساس غالبیت اسید سیتریک اندازه‌گیری شد (Shabani *et al.,* 2011). برای اندازه‌گیری مقدار اسیدآسکوربیک از روش تیتراسیون با محلول دی‌کلروفنل‌ایندوفنل استفاده شد (Ranganna *et al.,* 1997). برای این منظور دو گرم از گوشت میوه با محلول متافسفریک اسید سه درصد عصاره‌گیری شده و عصاره به دست آمده توسط محلول رنگی دی کلروفنل ایندوفنل تا ثبات رنگ ارغوانی تیتر شد. مقدار اسید آسکوربیک بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بافت میوه از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (Diphenyl-2-picrylhydrazyl) تعیین شد (Miliauskas *et al.,* 2004). برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت میوه به وسیله نیتروژن مایع در داخل هاون چینی پودر شده و سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول خالص به آن اضافه و همگن شد. عصاره حاصل در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد و سپس ۱۰ میکرولیتر عصاره متانولی به ۱۹۰۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی به منظور رسیدن محلول به حالت یکنواخت قرار گرفت. میزان جذب نمونه‌ها در ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر Scinco (مدل S-3100 ساخت کشور کره جنوبی) قرائت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH براساس فرمول زیر محاسبه شد که در آن DPPHsc درصد بازدارندگی، Asamp میزان جذب (DPPH+نمونه) و Acont میزان جذب DPPH

است:

DPPHsc = (1- (A samp / A cont)) × 100

برای اندازه‌گیری نشت یونی از قسمت‌های میانی میوه‌ها تعداد هشت دیسک به وسیله پانچ دستی برداشته و در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند. پس از ۴ساعت روی شیکر با سرعت ۱۵۰دور در دقیقه هدایت الکتریکی اولیه (EC1) محلول توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریک Lutron (مدلCD-4330 ساخت کشور تایوان) قرائت شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام آب گرم بادمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از سرد شدن هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) نمونه‌ها اندازه‌گیری و درصد نشت یونی بر اساس نسبت EC1/EC2 محاسبه شد (Ranganna *et al.,* 1997). سنجش میزان مالون دی آلدئید نیز بر اساس روش زینک و همکاران (Xing *et al.,* 2011) انجام شد. اندازه‌گیری میزان کلسیم بافت میوه توسط دستگاه جذب اتمی UNICAM (مدل AA 919 ساخت کشور استرالیا) و به روش ابل و همکاران (Abel *et al.,* 2011) انجام شد و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک ثبت شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمارهای اعمال شده و زمان‌های بررسی بودند. داده‌ها پس از جمع‌آوری و بررسی نرمال بودن توسط نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) تجزیه شده و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال آماری ۵ درصد استفاده شد. داده‌های زمان برداشت نیز به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات میوه در زمان برداشت

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در زمان برداشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر مقدار مواد جامد محلول مشاهده نشد. سفتی بافت میوه در تیمارهای کلسیم و جیبرلین بیشتر از نمونه‌های شاهد بود. در این بین نمونه‌های تیمار کلسیم سه بار محلول‌پاشی دارای سفتی بافت بیشتری در مقایسه با سایر تیمارها بود هر چند اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار جیبرلین سه بار محلول‌پاشی از نظر سفتی بافت نشان نداد. از نظر مقدار کلسیم بافت نیز نمونه‌های تیمار شده با کلریدکلسیم دارای مقدار کلسیم بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد و جیبرلین و نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین نیز دارای مقدار کلسیم بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند (جدول ۱).

کاهش سرمازدگی در میوه فلفل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین شدت سرمازدگی بافت میوه در میوه‌های تیمار کلسیم سه بار محلول‌پاشی وجود داشت. نمونه‌های تیمار کلسیم دو بار محلول‌پاشی نیز دارای شدت سرمازدگی کمتری در مقایسه با

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات سفتی، مواد جامد محلول و کلسیم بافت میوه فلفل دلمه‌ای در تیمارهای مختلف کلسیم و جیبرلین (GA3) در زمان برداشت

Table 1. Mean comparison of firmness, TSS and Calcium of sweet pepper fruit tissue in different calcium and gibberllin (GA3) treatments at harvest time

Treatment	تیمار	سفتی Firmness (kgm⁻²)	مواد جامد محلول TSS (٪)	کلسیم Ca (mgg⁻¹ dry mass)
Control (two spraying)	شاهد (۲ محلول پاشی)	3.29c	4.5a	2.52c
Control (three spraying)	شاهد (۳ محلول پاشی)	3.29c	4.4a	2.51c
GA_3 (two spraying)	جیبرلین (۲ محلول پاشی)	3.88b	4.7a	2.89b
GA_3 (three spraying)	جیبرلین (۳ محلول پاشی)	4.02ab	4.2a	2.87b
$CaCl_2$ (two spraying)	کلرید کلسیم (۲ محلول پاشی)	3.89b	4.1a	3.82a
$CaCl_2$ (three spraying)	کلرید کلسیم (۳ محلول پاشی)	4.19a	4.5a	4.03a

در هر ردیف میانگین‌ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with the same letters within rows are not significantly different at LSD ($p < 0.05$).

تیمارهای جیبرلین و شاهد بودند. نمونه‌های هر دو تیمار جیبرلین دو و سه بار محلول‌پاشی بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به یک‌دیگر دارای شدت سرمازدگی کمتری در مقایسه با شاهد بودند. میوه‌های شاهد با اختصاص نمره ۱/۳۳ دارای بیشترین شدت سرمازدگی بودند (جدول ۲). بر اساس نتایج اثر اصلی زمان بر صفات میوه فلفل دلمه‌ای، با گذشت زمان آزمایش شدت سرمازدگی تمامی نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳).

بر اساس اثر اصلی تیمار، نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین و کلسیم بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به یک‌دیگر دارای سفتی بافت بیشتری در مقایسه با شاهدهای آزمایش بودند. میوه‌های شاهد (آب) به صورت دوبار محلول‌پاشی و سه بار محلول‌پاشی به ترتیب با مقادیر ۲/۶۲ و ۲/۶۸ کیلوگرم بر مترمربع دارای کمترین میزان سفتی بافت بودند (جدول ۲). سفتی بافت تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان آزمایش به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳).

نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین و کلسیم در دو بار و سه بار محلول‌پاشی بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به یک‌دیگر دارای درصد اسید قابل تیتر بیشتر و مقدار مواد جامد محلول کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند (جدول ۲). بر اساس اثر اصلی زمان با گذشت زمان آزمایش درصد اسید قابل تیتر کاهش و مقدار مواد جامد محلول افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳).

بر اساس اثر اصلی تیمار نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین در سه بار محلول‌پاشی با مقدار ۸۳/۴۱ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم اسید آسکوربیک بیشترین مقدار اسید آسکوربیک در بین نمونه‌ها را دار بودند که البته با نمونه‌های کلرید کلسیم سه بار محلول‌پاشی اختلاف آماری معنی‌داری را نشان ندادند. نمونه‌های جیبرلین و کلرید کلسیم دو بار محلول‌پاشی نیز بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به یک‌دیگر دارای مقدار اسید

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های میوه فلفل دلمه‌ای در تیمارهای قبل از برداشت کلسیم و جیبرلین (GA3) پس از انبار سرد

Table 2. Mean comparison of charachteristics of sweet pepper in different pre-harvest treatments of CaCl2 and gibberelin (GA3) after cold storage

Treatment	تیمار	سرمازدگی Chilling injury (score)	سفتی Firmness ($kgcm^{-2}$)	اسید قابل تیتر TA (%)	مواد جامد محلول TSS (%Brix)	اسیدآسکوربیک Ascorbic acid ($mg100g^{-1}$)	آنتی اکسیدان Antioxidant (%)	مالون‌دی‌آلدئید MDA (μmg^{-1})	کلسیم Ca (mgg^{-1} dry mass)
Control (two spraying)	شاهد (۲ محلول‌پاشی)	1.33a	2.62c	1.21b	5.19a	58.33c	52.37c	0.96a	2.46d
Control (three spraying)	شاهد (۳ محلول‌پاشی)	1.33a	2.68bc	1.22b	5.22a	58.92c	52.87c	0.99a	2.45d
GA_3 (two spraying)	جیبرلین (۲ محلول‌پاشی)	0.8b	2.98ab	1.35a	4.43b	67.37b	59.25b	0.8b	2.89c
GA_3 (three spraying)	جیبرلین (۳ محلول‌پاشی)	0.84b	3.03a	1.31a	4.68b	83.41a	63.51ab	0.87b	2.86c
$CaCl_2$ (two spraying)	کلریدکلسیم (۲ محلول‌پاشی)	0.53c	3.17a	1.4a	4.6b	72.66b	62.37ab	0.64c	3.74b
$CaCl_2$ (three spraying)	کلریدکلسیم (۳ محلول‌پاشی)	0.29d	3.22a	1.38a	4.44b	76.44ab	65.37a	0.61c	3.95a

در هر ردیف میانگین‌ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with the same letters within rows are not significantly different at LSD ($p < 0.05$).

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های میوه فلفل دلمه‌ای درزمان‌های مختلف انبارمانی

Table 3. Mean comparison of sweet pepper charachteristics in different storage times

Storage time	زمان انبارمانی	سرمازدگی Chilling injury (score)	سفتی Firmness ($kgcm^{-2}$)	اسید قابل تیتر TA (%)	مواد جامد محلول TSS (°Brix)	اسیدآسکوربیک Ascorbic acid ($mg100g^{-1}$)	آنتی اکسیدان Antioxidant (%)	نشت یونی EC (%)	مالون‌دی‌آلدئید MDA (μmg^{-1})
10 Days	۱۰ روز	0.72b	3.21a	1.39a	4.55b	76.39a	63.66a	9.14b	0.7b
20 Days	۲۰ روز	0.99a	2.69b	1.23b	4.97a	62.23b	54.92b	17.5a	0.92a

در هر ردیف میانگین‌ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means with the same letters within rows are not significantly different at LSD ($p < 0.05$).

آسکوربیک بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند (جدول ۲). با گذشت زمان آزمایش مقدار اسید آسکوربیک نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳).

از نظر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین و کلریدکلسیم دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند. در این بین با افزایش دفعات محلول‌پاشی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها به طور نسبی بیشتر افزایش یافت ولی اختلاف چندان قابل توجهی بین تیمارهای جیبرلین و کلریدکلسیم از نظر ظرفیت آنتی اکسیدانی مشاهده نشد (جدول ۲). با گذشت زمان آزمایش ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها کاهش یافت (جدول ۳).

نتایج مالون دی آلدئید نشان داد که بیشترین میزان این ترکیب در میوه‌های شاهد با اعدادی معادل ۰/۹۶ و ۰/۹۹ میکرومول بر گرم مشاهده شد. تیمارهای کلرید کلسیم دو و سه بار محلول‌پاشی به طور معنی‌داری دارای مقدار مالون دی آلدئید کمتری در مقایسه با نمونه‌های جیبرلین و شاهد بودند. نمونه‌های تیمار شده با جیبرلین دو و سه بار محلول‌پاشی نیز بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به یک‌دیگر دارای مقدار مالون دی‌آلدئید کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند (جدول ۲). با گذشت زمان آزمایش مقدار مالون دی آلدئید تمامی نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳).

بررسی مقدار کلسیم میوه نشان داد که، تمامی تیمارهای جیبرلین و کلرید کلسیم اعمال شده دارای مقدار کلسیم بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند. در این بین تیمار کلریدکلسیم سه بار محلول پاشی با مقدار ۳/۹۵ درصد بیشترین مقدار کلسیم در بین نمونه‌ها را دارا بود. نمونه‌های تیمار کلرید کلسیم دو بار محلول‌پاشی نیز دارای مقدار کلسیم بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تیمارهای جیبرلین بودند. نمونه‌های تیمارهای جیبرلین دو و سه بار محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار کلسیم نشان ندادند (جدول ۲).

میوه‌های نافرازگرا از جمله فلفل دلمه‌ای تغییرات فیزیولوژیکی کمی در مرحله پس از برداشت از خود نشان می‌دهند منتهی با وجود فعالیت متابولیکی کم در این گونه میوه‌ها انبارمانی طولانی می‌تواند منجر به تغییر زیاد در خصوصیات کیفی میوه شود (Rahemi, 2011). در فلفل دلمه‌ای سرمازدگی از جمله عوامل اصلی محدود کننده عمر انباری این میوه است که منجر به شیوع سریع آلودگی‌های قارچی و کاهش شدید سفتی می‌شود (Nyanjage *et al.*, 2005). نتایج این آزمایش نشان داد که سرمازدگی میوه‌های فلفل دلمه‌ای با تیمارهای قبل از برداشت کلسیم و جیبرلین کاهش معنی‌داری پیدا کرد و تأثیر تیمار کلسیم بیشتر از تاثیر تیمار جیبرلین بود. با افزایش دفعات محلول‌پاشی تیمار کلسیم این اثر بیشتر نیز شد. در این آزمایش رابطه مثبتی بین کاهش

شدت سرمازدگی و مقدار کلسیم بافت مشاهده شد، به طوری که میوه‌های تیمار شده با کلریدکلسیم و جیبرلین دارای مقدار کلسیم بیشتری در بافت خود در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند. در این حالت نیز مقدار کلسیم نمونه‌های تیمار کلریدکلسیم بیشتر از نمونه‌های جیبرلین بود و با افزایش دفعات محلول‌پاشی کلریدکلسیم مقدار کلسیم بافت بیشتر شد. این امر می‌تواند ناشی از قراردادن مقدار بیشتری از عنصرکلسیم در اختیار میوه‌های در حال رشد با افزایش دفعات محلولپاشی کلسیم باشد که منجر به تولید میوه‌هایی با استحکام و کیفیت برتر شده و نسبت به سایر تیمارها دارای مقاومت بیشتری در انبار بودند. تحقیقات نشان داده که کلسیم علاوه بر استحکام بخشیدن به دیواره سلولی با کاهش تولید اتیلن و کنترل تنفس و همچنین کاهش تعرق در کاهش علایم سرمازدگی، کاهش آلودگی‌های قارچی و افزایش انبارمانی محصولات باغبانی نقش خود را ایفا می‌کند (Babalar *et al.*, 1999).

اثر تیمار جیبرلین در افزایش مقدار کلسیم بافت قبلا نیز گزارش شده است (Jones and Carbonell, 1984). باتوجه به این که محتوای کلسیم بافت گیاه با افزایش میزان تعرق افزایش می‌یابد، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سطح برگ و میوه در گیاه توسط جیبرلین، میزان تعرق و جذب کلسیم از خاک توسط گیاه افزایش می‌دهد (Conway *et al.*, 2002؛ Babalar *et al.*, 1999).

در این آزمایش سفتی بافت در هر دو تیمار کلسیم و جیبرلین بیشتر از شاهد بود. از آن‌جایی که کلسیم موجب استحکام دیواره سلولی می‌شود، بالا بودن سفتی بافت در میوه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد می‌تواند به دلیل افزایش مقدار کلسیم بافت باشد (Conway *et al.*, 2002؛ Babalar *et al.*, 1999). داگار و همکاران (Dagar *et al.*, 2012) گزارش کردند که تیمار اسیدجیبرلیک در میوه هلو علاوه بر افزایش سفتی در زمان برداشت باعث حفظ سفتی میوه نسبت به شاهد پس از سه هفته انبارمانی شد. همچنین اثر تیمار قبل از برداشت کلرید کلسیم بر بهبود عمر پس از برداشت و حفظ دیواره سلولی میوه سیب رقم Fuji Kiku-8 توسط ابل و همکاران (Abel *et al.*, 2011) گزارش شده است.

نتایج مربوط به سرمازدگی با مشاهدات به دست آمده از مقدار مالون دی‌آلدئید میوه‌ها همسو بود، با این تفاوت که بین زمان‌های محلول‌پاشی در هر تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهایی که دارای خسارت سرمازدگی کمتری بودند از محتوی مالون دی آلدئید کمتری نیز برخوردار بودند. مقدار مالون دی آلدئید به عنوان شاخصی از میزان تنش وارد شده به گیاه محسوب می‌شود (Ding *et al.*, 2001). مقدار مالون‌دی‌آلدئید یک شاخص برای سنجش میزان پراکسیده شدن

لیپیدهای غشای سلولی است. زمانی که تنش‌های غیرزنده به خصوص تنش دمای پایین به بافت گیاهی وارد می‌شود گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شوند که با اسیدهای چرب غیراشباع در غشای سلولی واکنش داده و باعث پراکسیده شدن لیپیدهای غشا می‌شوند (Huang *et al.*, 2010؛ Ding *et al.*, 2001).

تیمارهایی که موجب کاهش خسارت سرمازدگی می‌شوند در واقع پراکسیداسیون چربی غشا را کاهش داده و به این طریق از بروز علایم سرمازدگی ممانعت می‌کنند (Huang *et al.*, 2010). یکی از راهکارهای مهم سلول‌های گیاهی در ممانعت از پراکسیدسیون لیپیدهای غشا بالا بودن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در آن‌ها است که با خنثی کردن رادیکال‌های آزد از آسیب به غشاهای سلولی در شرایط تنش ممانعت می‌کنند. در آزمایش حاضر نیز کاهش شدت سرمازدگی و مقدار مالون دی آلدئید با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارها همراه بود که با نتایج هوانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2010) مطابقت داشت که گزارش کردند کاربرد کلرید کلسیم در پرتغال ناول کارا کارا (Cara cara Navel Orange) با تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش شدت سرمازدگی شد. در گزارشی دیگر نشان داده شد که محلول‌پاشی با جیبرلین در قبل از برداشت با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در میوه باعث مقاومت به سرمازدگی میوه خرمالو در انبار می‌شود (Besada *et al.*, 2008).

ترکیب اسیدآسکوربیک از جمله مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی میوه فلفل دلمه‌ای است که حفظ و افزایش آن در طول دوره انبار به مفهوم حفظ قدرت مبارزه و زدودن رادیکال‌های آزاد تولید شده در شرایط تنش است (Deppa *et al.*, 2006؛ Bosland and Votova, 2000). تیمارهای جیبرلین و کلریدکلسیم به عنوان تیمارهای موثر در کاهش علایم سرمازدگی میوه فلفل دلمه‌ای دارای مقدار اسیدآسکوربیک بیشتری از نمونه‌های شاهد در این آزمایش بودند. اسیدآسکوربیک یکی از ترکیبات سرشار از گروه -CO است که می‌تواند در متلاشی کردن رادیکال‌های آزاد به وجود آمده در اثر تنش سرما نقش مهمی بازی کند. یکی از رادیکال‌های آزاد مضر ایجاد شده در اثر تنش یون سوپراکسید است که آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز دو یون سوپراکسید را باهم ترکیب و به اکسیژن و H_2O_2 تبدیل می‌کند، سپس گروه دیگر آنزیم‌ها یعنی پراکسیدازها H_2O_2 تولید شده در شرایط تنش را با اکسیداسیون ترکیبات آنتی‌اکسیدانی حاوی گروه -CO متلاشی می‌سازند و بدین طریق اثر سوء رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در اثر تنش سرما خنثی می‌شود (Miliauskas *et al.*, 2008؛ Deppa *et al.*, 2006). در میوه‌های فلفل دلمه‌ای کاهش سرمازدگی انباری میوه با کاربرد

متیل سالیسیلات و متیل جاسمونات به تاثیر تیمارها در افزایش بیان ژن‌های آلترنتیو اکسیداز (Alternative oxidase) نسبت داده شده است که در سیستم دفاعی سلول‌های گیاهی در برابر تنش‌های اکسید شدنی دخالت دارند (Fung *et al.,* 2006).

بر اساس نتایج این آزمایش نمونه‌های تیمار شده با کلسیم و جیبرلین دارای مقدار مواد جامد محلول کمتر و مقدار اسید قابل تیتر بیشتری در مقایسه با شاهد بودند. افزایش مقدار مواد جامد محلول در طی انبارمانی می‌تواند در اثر کاهش آب میوه و تغلیظ شیره سلولی باشد (Nyanjage *et al.,* 2005)، بنابراین هر دو تیمار استفاده شده در این آزمایش به دلیل استحکام بهتر دیواره سلولی و حفظ یک‌پارچگی غشای سلولی، احتمالاً با ممانعت از دست دادن آب از تغلیظ شیره سلولی و افزایش مقدار مواد جامد محلول ممانعت کردند.

غالباً کاهش اسید قابل تیتر در شرایط تنش سرما در میوه‌ها امری طبیعی است زیرا که متابولیسم سلولی جهت حفظ سلامتی اندام‌های سلولی افزایش و اسیدهای آلی در تنفس سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sakaldas and Kaynas, 2010). در این آزمایش نیز تیمارهای موثر در کاهش شدت سرمازدگی با حفظ بهتر اسید قابل تیتر میوه همراه بودند.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی، اعمال تیمارهای قبل از برداشت کلسیم و جیبرلین علاوه از افزایش کیفیت و کمیت میوه‌های تولیدی با کاهش خسارت سرمازدگی و افزایش عمر انبارمانی میوه‌های فلفل دلمه‌ای همراه است و لذا استفاده از این تیمارها می‌تواند به عنوان یک برنامه راهبردی در تولید و نگهداری میوه‌های فلفل دلمه‌ای مورد استفاده تجاری قرار گیرد.

References

Abel, O., Jordi, G., and Isabel, L. 2011. Preharvest calcium applications inhibit some cell wall-modifying enzyme activities and delay cell wall disassembly at commercial harvest of ‘Fuji Kiku-8 apples. Postharvest Biology and Technology 62: 161-167.

Ashornejad, M., and Ghasemnejad, M. 2012. Effect of packaging with cellophane and cold storage on quality and shelf life of Japanese Medlar fruit. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology 7: 95-375.

Babalar, M., Dolati Baneh, A., and Sharafatian, D. 1999. Postharvest effect of calcium chloride on storage quality of two varieties of grape. Seed and Plant 14: 32-40 (in Persian).

Besada, C., Arnal, L., and Salvador, A. 2008. Improving storability of persimmon cv. Rojo Brillante by combined use of preharvest and postharvest treatments. Postharvest Biology and Technology 50: 169-175.

Bosland, P. W., and Votova, J. 2000. Pepper: Vegetable and Specie Capsicums. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Conway, W. S., Sams, C. E., and Hickey, K. D. 2002. Pre- and postharvest calcium treatment to apple fruit and its effect on quality. Acta Horticulturae 59: 53-62.

Dagar, A., Weksler, A., Friedman, H., and Lurie, S. 2012. Gibberellic acid application at the end of pit ripening: effect on ripening and storage of two harvests of "September Snow" peach. Scientia Horticulturae 140: 125-130.

Deppa, N., Kaur, C., Singh, B., and Kapoor, H. C. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. Composition and Analysis 19: 572-578.

Ding, C. K., Wang, C., Gross, K., and Smith, D. 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock protein genes in tomatoes by methyl jasmonate and methyl salicylate. Plant Science 161: 1153-1159.

Fung, R. W. M., Wang, C. Y., Smith, D. L., Gross, K. C., and Tian, M. 2006. MeSA and MeJA increase steady-state transcript level of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). Plant Science 166: 711-719.

Hedden, P., and Phillips, A. 2000. Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. Trends in Plant Sciences 5: 523-530.

Huang, R. H., Lixu, J. K. and Lu, Y. M. 2010. Effect of $CaCl_2$ in preharvest on the antioxidant system in the pulp of Cara cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. Postharvest Biology and Technology 54: 235-243.

Jones, R. L., and Carbonell, J. 1984. Regulation of the synthesis of barley aleurone α-amylase by giberellic acid and calcium ions. Plant Physiology 76: 213-218.

Ju, Z. G., Duan, Y. S., and Ju, Z. Q. 1999. Combinations of GA_3 and AVG delay fruit maturation, increase fruit size and improve storage life of Feicheng peaches. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74: 579-583.

Lange, T. 1998. Molecular biology of gibberellin synthesis. Plantarum 204: 409-419.

Lima, L. C. O. 1990. Quality and cell wall components of Anna and Granny smith apples treated with heat, calcium and ethylene. HortScince 115: 954-958.

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., and van Beek, T. A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry 85: 231-237.

Nyanjage, M. O., Nyalala, S. P. O., Illa, A. O., Mugo, B. W., Limbe, A. E., and Valimu, E. M. 2005. Extending post-harvest life of sweet pepper (*Capsicum annum* L. California Wonder) with modified atmosphere packaging and storage temperature. Agricultura Tropica et Subtropica 38: 28-34.

Peyvast, G. 2009. Vegetable Production, Daneshpazir Press, Tehran, Iran. 577 pp. (in Persian).

Rahemi, M. 2011. Postharvest Physiology. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 437 pp. (in Persian).

Ramana, T. V. R., Neeta, B. G., and Khlana, K. S. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Scientia Horticulturae 132: 18-26.

Ranganna, S. 1997. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. McGraw-Hill, New Delhi, India.

Shabani, T., Peyvast, H., and Olfati, J. 2011. Effect of substrates on quantitative and qualitative characteristics of three varieties of sweet pepper in soilless culture. Journal of Greenhouse Culture Science and Technology 25: 369-375.

Sakaldas, M., and Kaynas, K. 2010. Biochemical and quality parameters changes of green sweet bell peppers as affected by different postharvest treatments. African Journal of Biotechnology 9: 8174-8181.

Vicente, A. R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A., and Chaves, A. R. 2005. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. Postharvest Biology and Technology 35: 69-78.

Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., and Tang, Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry 124:1443-1450.